

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 669.162.2

Томаш А.А.¹, Тарасов В.П.², Шапиро-Никитин Д.Е.³

МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТЫ И ГАЗОВ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, ОБОРУДОВАННОЙ КОНУСНЫМ ЗАГРУЗОЧНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Сформулирован принцип распределения шихты на колошнике доменной печи, при котором достигается соответствие количества рудных материалов и газов-восстановителей в различных радиальных зонах. На основе экспериментальных исследований разработана система загрузки доменной печи конусным засыпным аппаратом, обеспечивающая увеличение интенсивности газового потока в зоне рудного гребня

Рациональное распределение материалов и газов в доменной печи является одним из важнейших условий, обеспечивающих её форсированную и экономичную работу. Только за счёт выбора рациональных систем загрузки шихты и параметров газораспределения удельный расход кокса на выплавку 1 т чугуна может быть снижен минимум на 10 – 15 кг [1]. Эффективность применения интенсивных технологий выплавки чугуна в доменных печах в значительной степени зависит от распределения материалов и газов в рабочем пространстве. При значительной неравномерности в распределении газов и низкой газопроницаемости рудного гребня снижается эффективность применения природного газа [2]. Промышленный опыт работы доменных печей с вдуванием пылеугольного топлива свидетельствует, что звеном, лимитирующим расход угольной пыли, является газодинамический режим [3].

Распределение шихты и газов в доменной печи определяет развитие восстановительных процессов, соотношение экзотермических реакций косвенного восстановления оксидов железа газами и эндотермических реакций прямого восстановления твёрдым углеродом. Восстановление оксидов железа газами и теплообмен в противотоке протекает тем быстрее, чем больший избыток газа обеспечен. В периферийной и центральной зонах обычно наблюдается избыток газов-восстановителей. Оксиды железа восстанавливаются СО и водородом достаточно полно, но тепловая и восстановительная энергия газа используется недостаточно. В промежуточной зоне с максимальной рудной нагрузкой, отношением массы рудных материалов и кокса, количество газа недостаточно. Его состав близок к равновесному, что ведёт к торможению процессов восстановления. Степень прямого восстановления железа в зонах с развитым газовым потоком ниже, чем в гребне и в среднем для всей печи [2]. Из-за недостаточного количества газавосстановителя и избытка рудных материалов в районе гребня оксиды железа не могут быть полностью восстановлены газами ни при каких условиях. Даже при достижении газом равновесного состава твёрдым углеродом восстановится около 40 % железа из гребня [4]. Материалы из гребня окончательно восстанавливаются в нижней части заплечиков или в горне, в резуль-

¹ ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

² ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

³ ПГТУ, аспирант

тате чего снижается нагрев горна и увеличивается степень прямого восстановления во всей печи [2].

Различие в ходе процессов восстановления в разных кольцевых зонах доменной печи является результатом не только неравномерного распределения шихты, но и соотношения газопроницаемости её основных компонентов: кокса и агломерата. Одним из основных для современного доменного процесса является противоречие между необходимым распределением газов и соотношением газопроницаемости кокса и рудных материалов. По условиям шахты доменной печи газопроницаемость рудной шихты должна быть больше, чем у кокса. В реальных условиях имеется обратное соотношение их газопроницаемостей. Понижение газопроницаемости кокса недопустимо, так как условием нормальной работы нижней части доменной печи является высокая дренажная способность и газопроницаемость коксовой насадки. Но при условии значительного увеличения механической прочности возможно ограничение крупности твёрдого топлива, загружаемого в периферийную и промежуточную зоны, до 40 мм. Более традиционный подход предусматривает повышение газопроницаемости рудных материалов за счёт увеличения их механической прочности и предварительного отсева мелочи. В современных условиях удаётся лишь несколько приблизить газопроницаемость рудных материалов к газопроницаемости кокса, но далеко не достигнуть и тем более не превзойти её. Таким образом, противоречие между необходимым распределением газов и соотношением газопроницаемости компонентов доменной шихты лишь сглаживается, но не устраняется. Единственным методом разрешения отмеченного противоречия остаётся подбор рациональных способов загрузки шихты.

Для рационального развития восстановления железа в кольцевых зонах доменной печи наилучшими представляются режимы загрузки, обеспечивающие минимальную дисперсию по радиусу газовых нагрузок, или обратных величин: рудных нагрузок на газ и отношения кислорода шихты, связанного с железом, к количеству газов-восстановителей [4, 5]. Необходимо стремиться к относительно равномерному распределению газов и рудных материалов по сечению печи, а при сохранении неравномерности к подаче дополнительного количества тепла и газов-восстановителей в зону гребня, где их дефицит ощущается в наибольшей мере [2]. Увеличить газопроницаемость рудного гребня и интенсивность газового потока в этой зоне можно, загружая железорудные материалы на колошник распределённым по радиусу гребнем, а кокс сосредоточенным гребнем, располагающимся по середине рудного. Это приводит к снижению рудных нагрузок в зоне максимального количества железорудной шихты за счёт большего сосредоточения кокса в этом же месте. Увеличение интенсивности газового потока в районе рудного гребня обеспечивает соответствие количества газа – восстановителя и восстанавливаемого материала в различных радиальных зонах.

Загрузку шихты в доменную печь, обеспечивающую увеличение газопроницаемости рудного гребня, проще осуществить лотовым загрузочным устройством, обладающим широкими технологическими возможностями. Железорудные материалы необходимо загружать с 3 – 5 последовательных станций наклона лотка, а кокс с 1– 3. Причём угол наклона лотка при загрузке кокса находится внутри интервала изменения угла наклона при загрузке железорудной шихты [6]. При использовании систем загрузки $AA\downarrow_{8-10}KK\downarrow_9$, где 8, 9, 10 – станции наклона лотка, на доменных печах № 3 и 4 металлургического комбината «Азовсталь» удельный расход кокса снижался на 16 кг/т чугуна. Способы загрузки доменных печей конусными загрузочными устройствами, обеспечивающие повышение газопроницаемости зоны рудного гребня, не применяются и требуют разработки.

Целью исследования явилось достижение радиального распределения шихты с уменьшенными рудными нагрузками в районе рудного гребня с помощью конусного распределителя. Возможности конусного распределителя шихты исследовались на секторной модели колошника доменной печи, выполненной в масштабе 1:10 [1]. Шихтовые материалы имитировали частицы агломерата крупностью 1 – 3 мм и кокса 3 – 5 мм. Исследовали системы загрузки агломератом вперёд: смешанные $AAKK\downarrow$, отдельные с загрузкой кокса сразу после агломерата без достижения заданного уровня засыпи $AA\downarrow KK\downarrow$ и отдельные с загрузкой агломерата и кокса на заданном уровне засыпи $AA\downarrow$. Загрузку агломерата $AA\downarrow$ производили с нормальной $KK\downarrow$

скоростью опускания большого конуса за 2,4 с (7,5 с в реальных условиях) и с замедленной за

4,7 с (15 с). В результате каждого эксперимента определяли распределение рудных нагрузок и масс агломерата и кокса по радиусу колошника. Для сопоставления результатов опытов с различными значениями средней рудной нагрузки на кокс \overline{PH} в каждой радиальной зоне определяли относительную рудную нагрузку PH_i / \overline{PH} . В области, где относительная рудная нагрузка больше 1 газопроницаемость и интенсивность газового потока понижены. На отрезках радиуса, где $PH_i / \overline{PH} < 1$, достигается повышенная газопроницаемость шихты и интенсивность газового потока. Средняя рудная нагрузка менялась в интервале 3,24 – 3,65 г/г. Для переноса результатов экспериментов на доменные печи различного объема расстояние от стен рабочего пространства выражали в долях радиуса колошника. Раздельная загрузка рудных материалов и кокса позволила распределять их по радиусу колошника независимо друг от друга. При замедленном опускании большого конуса рудный гребень рассредоточивается по радиусу колошника. В начальный период опускания конуса из-за сопротивления контактных поверхностей рудные материалы сыплются по отвесным траекториям на некотором расстоянии от стен. По мере опускания большого конуса ширина щели увеличивается, сопротивление кромок уменьшается, и шихта сыпается на колошник по всё более пологим траекториям, приближаясь к стенам печи. В результате на колошнике железорудный материал укладывается в виде распределённого гребня на отрезке радиуса в периферийной зоне. Два скипа кокса загружаются на поверхность шихты после достижения заданного уровня засыпи с опускающегося с нормальной скоростью конуса и также располагаются у стен колошника в виде сосредоточенного гребня.

При смешанной подаче ААКК↓ в периферийной зоне собирается 66 % рудной шихты. При системе загрузки АА↓ и обычной скорости опускания большого конуса у стен концентрируется 80 % рудной составляющей подачи. Увеличение времени опускания большого конуса до 15 с (реальные условия) при системе загрузки АА↓ приводит к перераспределению части рудного гребня в промежуточную зону, а доля рудных материалов в периферийной зоне уменьшается до 67 % (рис. 1 а). Наибольшее количество кокса, 79 % от его общей массы в подаче, собирается у стен колошника при раздельной системе загрузки АА↓ с ожиданием заданного уровня за-
КК↓

сыпи. При смешанной подаче ААКК↓ в периферийной зоне концентрируется 53 % коксовой колоши. Доля кокса у стен при системе загрузки АА↓КК↓ не превышает 47 %. Увеличение времени опускания конуса до 15 с (реальные условия) при загрузке агломерата в составе раздельной подачи способствовало увеличению доли кокса в периферийной зоне до 61 % (рис. 1 б). Прямая подача ААКК↓ обеспечивает подгрузку периферии рудной сыпью. Рудная нагрузка в

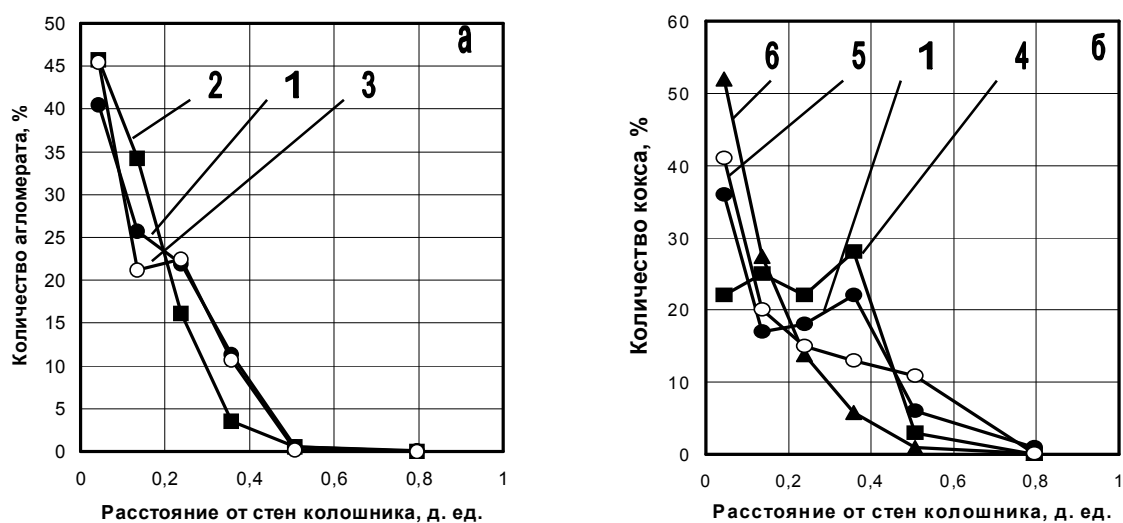


Рис. 1 – Распределение агломерата (а) и кокса (б) по радиусу колошника при системах загрузки: 1 - ААКК↓; 2, 3 - АА↓; 4, 5 - АА↓КК↓; 6 - КК↓. Время опускания большого конуса при загрузке агломерата: 2, 4 – 7,5 с; 3, 5 – 15 с.

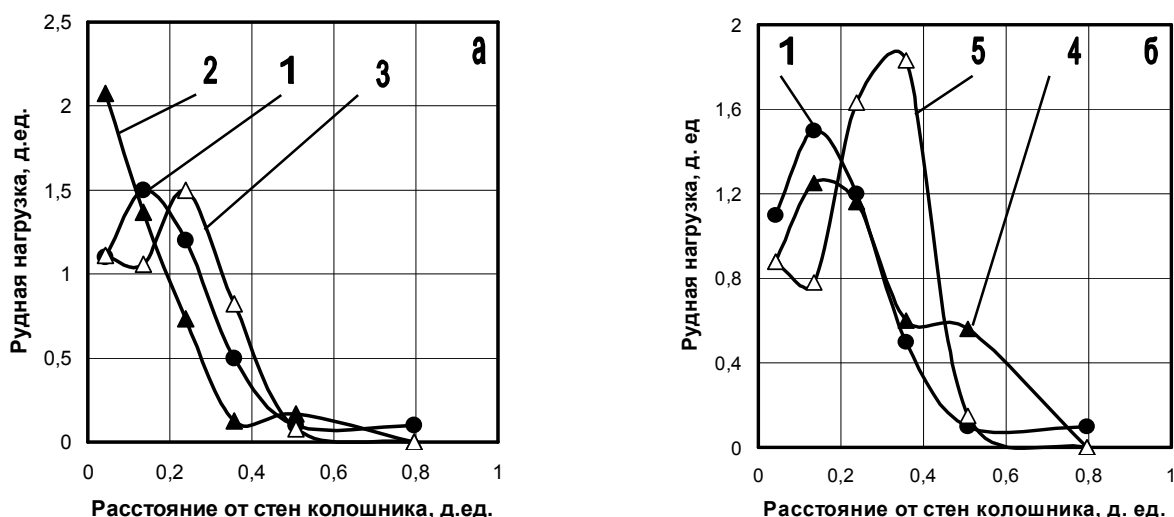


Рис. 2 - Распределение по радиусу колошника рудных нагрузок при системах загрузки: 1 - ААКК↓; 2, 3 - АА↓КК↓; 4, 5 - АА↓. Раздельные подачи: а – без ожидания меры; б – с ожиданием меры. Время опускания большого конуса при загрузке агломерата: 2, 4 – 7,5 с; 3, 5 – 15 с.

периферийной зоне составляет 1,1 – 1,5 д.ед. (при средней рудной нагрузке в подаче 3,5 т/т рудная нагрузка на периферии составит 3,85 – 5,25 т/т кокса). В большей степени подгружает периферию раздельная подача АА↓КК↓ с нормальной скоростью опускания большого конуса. Рудная нагрузка непосредственно у стен возрастает до 2,1 д.ед. (6,72 т/т при средней рудной нагрузке 3,5 т/т). Система загрузки АА↓ при нормальной скорости опускания конуса способствует снижению рудной нагрузки у стен до 0,9 д.ед. (3,15 т/т). Увеличение времени опускания большого конуса при загрузке агломерата в составе раздельных подач смещает положение максимума рудной нагрузки в промежуточную зону на расстояние 0,24 – 0,36 радиуса колошника за счёт перераспределения рудного гребня (рис. 2). Система загрузки АА↓ с замедленным КК↓

опусканием большого конуса при ссыпании рудных материалов наиболее полно позволяет решить задачу снижения рудной нагрузки и повышения газопроницаемости в районе рудного гребня с помощью конусного загрузочного устройства. При сосредоточении в периферийной зоне 67 % железорудных материалов, требующих восстановления, относительная рудная нагрузка у стен составила 0,78 – 0,88 д.ед. (2,7 – 3,1 т/т). Максимальная рудная нагрузка, 1,83 д.ед. (6,4 т/т) и пониженная газопроницаемость соответствует области на расстоянии 0,36 радиуса колошника от стен, в которой сосредоточено лишь 10,7 % железорудной шихты и потребность в газе восстановителе относительно невелика.

Результаты экспериментальных исследований радиального распределения агломерата и кокса на модели колошника, успешный опыт применения подач, обеспечивающих снижение рудной нагрузки в зоне рудного гребня, на доменных печах с лотковым загрузочным устройством позволяют рекомендовать в перспективе применение в промышленных условиях раздельной загрузки с замедленным опусканием большого конуса при ссыпании рудных материалов. Осложнить применение такого способа загрузки может сокращение количества кокса, попадающего в осевую зону, и снижение интенсивности осевого газового потока из-за концентрации большей части кокса в периферийной зоне. Следствием может стать загромождение горна и расстройство хода печи. Поэтому системы загрузки с формированием сосредоточенного коксового гребня у стен должны сочетаться с подачами, обеспечивающими загрузку части кокса в осевую зону колошника.

Выводы

1. Одним из основных противоречий современного доменного процесса является несоответствие необходимого распределения газов и соотношения газопроницаемости кокса и рудных материалов. В шахте доменной печи газопроницаемость рудной шихты должна быть больше, чем у кокса. В реальных условиях наблюдается обратное соотношение газопроницаемости компонентов доменной шихты. Единственным методом разрешения такого противоречия в настоящее время остаётся подбор рациональных способов загрузки.
2. Увеличить газопроницаемость рудного гребня и интенсивность газового потока в этой зоне, подать дополнительное количество тепла и газов-восстановителей в зону гребня, где их дефицит ощущается в наибольшей мере, можно, загружая железорудные материалы на колошник распределённым по радиусу слоем, а кокс сосредоточенным гребнем, располагающимся по середине рудного. Это приводит к снижению рудных нагрузок в зоне максимального количества железорудной шихты за счёт большего сосредоточения кокса в этом же месте.
3. Наиболее полно решить задачу снижения рудной нагрузки и повышения газопроницаемости в районе рудного гребня с помощью конусного загрузочного устройства позволяет раздельная загрузка агломерата и кокса с замедленным опусканием большого конуса при ссыпании рудных материалов.
4. Результаты проведенных исследований позволяют в перспективе распространить способы загрузки, обеспечивающие повышение газопроницаемости рудного гребня, на доменные печи, оборудованные конусными загрузочными устройствами.

Перечень ссылок

1. *Тарасов В.П.* Газодинамика доменного процесса / *В.П. Тарасов* – М.: Металлургия, 1990. – 216 с.
2. *Бугаев К.М.* Распределение газов в доменных печах / *К.М. Бугаёв* – М.: Металлургия, 1974. – 176 с.
3. Технический прогресс в доменном производстве / *В.П. Терещенко, С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачёв* и др. // *Сталь*. – 1992. - № 6. – С. 9 – 12.
4. *Тарасов В.П.* Графический анализ противотока шихты и газов и восстановление железа по радиусу доменной печи / *В.П. Тарасов, В.Б. Семакова, А.А. Томаш* // *Теория и практика металлургии*. – 1998. - № 4. – С. 13 – 15.
5. *Ковишов В.Н.* Экспериментальные исследования движения шихты и газа в доменной печи / *В.Н. Ковишов В.Н., В.А. Петренко* – Днепропетровск, 1996. – 124 с.
6. Патент № 47820 А. Украина. МКИ⁷ С 21 В 7/20. Способ загрузки доменной печи / *А.А. Томаш, В.П. Тарасов, Л.В. Быков* и др. // *Промислова власність*. – 2002. - № 7. – Книга 1. - С. 4.70.

Статья поступила 23.04.2003